

Pengolahan Buah Bintaro sebagai Sumber Bioetanol dan Karbon Aktif

Greg Iman¹, Tony Handoko²

¹Jurusan Teknik Kimia FTI UNPAR Jalan Ciumbuleuit 94, Bandung

²Jurusan Teknik Kimia FTI UNPAR Jalan Ciumbuleuit 94, Bandung

Abstract

Cerbera odollam is a street plant without economic value. It can grow in extreme environment and easily cultivated in Indonesia. The peeled fruit will change its color into brown which indicates glucose content. It shows that the fruit can be used as a source to produce bioethanol. The fruit also contains lignin which can be used as a source in producing activated carbon. The purposes of this research are to study the influence of enzyme dilution, the optimum time, and the optimum substrate concentration of Cerbera odollam enzyme hydrolysis. The benefits of this research are to give knowledge about enzyme hydrolysis process of Cerbera odollam and an alternative utilization of Cerbera odollam as a prospective source in producing bioethanol and activated carbon. The research method is performing a large scale enzyme hydrolysis of 5 g/L and 100 g/L substrate. Liquid hydrolyzate is fermented to produce bioethanol and the solid is processed into activated carbon. Enzyme hydrolysis and ethanol production from 100 g/L substrate is more economical than 5 g/L for higher glucose production and fewer enzymes usage. However, activated carbon adsorption of the 5 g/L substrate is better than 100 g/L substrate.

Keywords: bioethanol, *Cerbera odollam*, enzym hydrolysis, activated carbon, lignin, cellulose.

Pendahuluan

Tanaman bintaro merupakan salah satu tanaman mangrove yang dapat tumbuh di tanah yang kurang nutrisi dan tersebar hampir diseluruh wilayah Indonesia sehingga mudah untuk dibudidayakan. Buah bintaro merupakan buah drupa (berbiji) dengan serat lignoselulosa yang menyerupai buah kelapa. Selama ini masyarakat hanya mengenal tanaman bintaro sebagai tanaman peneduh kota dan belum banyak dimanfaatkan sehingga nilai ekonomisnya masih rendah. Adanya kandungan selulosa menjadikan buah bintaro berpotensi dalam pembuatan bioetanol melalui proses hidrolisis yang memecah selulosa menjadi glukosa yang merupakan bahan baku fermentasi bioetanol. Selain itu, buah bintaro berpotensi juga dalam pembuatan karbon aktif dikarenakan kandungan lignin pada buah bintaro memiliki komposisi yang hampir sama dengan tempurung kelapa yang banyak digunakan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif secara komersial. Penggunaan buah bintaro dalam pembuatan bioetanol dan karbon aktif skala besar tidak akan menimbulkan persaingan dengan pemenuhan kebutuhan pangan masyarakat karena tanaman bintaro dapat digolongkan sebagai tanaman nonpangan akibat kandungan racun pada biji bintaro yang menyebabkan buah bintaro tidak dapat dimakan.

Pembuatan bioetanol dengan cara fermentasi dari biomassa khususnya tanaman nonpangan banyak

dikembangkan oleh negara-negara maju seperti Eropa, US, dan Brazil. Negara-negara tersebut telah menggunakan bioetanol sebagai energi alternatif yang dapat diperbaharui dan ramah lingkungan untuk menggantikan Bahan Bakar Minyak (BBM). Kandungan bioetanol memiliki nilai oktan yang lebih tinggi sehingga penggunaan bioetanol pada kendaraan bermotor dapat mengurangi emisi gas rumah kaca (khususnya CO₂) sebesar 60-90% dibandingkan penggunaan bensin. Berbeda dengan negara Indonesia, bioetanol lebih banyak dimanfaatkan sebagai pelarut dalam industri kosmetik, kimia-elektronika dan farmasi. Produksi etanol di Indonesia sendiri diperkirakan akan terus meningkat dengan persentase kenaikan sebesar 5,6% seiring meningkatnya kebutuhan etanol untuk industri kimia dan farmasi. Permintaan etanol pada tahun 2005 sebesar Rp 93,79 miliar meningkat menjadi Rp 380,13 miliar pada tahun 2006 (Badan Pusat Statistik Indonesia., 2004).

Kenaikan permintaan juga terjadi pada karbon aktif yang banyak digunakan sebagai adsorben untuk menghilangkan logam berat dan zat pewarna yang terkandung dalam limbah cair industri. Permintaan karbon aktif pada tahun 2004 sebesar Rp 670,52 juta meningkat menjadi Rp 2,838 miliar pada tahun 2005 (Badan Pusat Statistik Indonesia., 2004). Untuk memenuhi kenaikan permintaan tersebut pembuatan karbon aktif saat ini banyak menggunakan bahan baku lignoselulosa yang tersedia dalam jumlah besar, dapat diperbaharui dan rendah nilai ekonomisnya.

Bahan baku karbon aktif komersial berbasis lignoselulosa saat ini berasal dari tempurung kelapa. Akan tetapi pertumbuhan tanaman kelapa sangat dipengaruhi oleh cuaca selain itu tanaman kelapa juga rentan terkena hama, seperti ulat pengerat daun (*Artona catoxantha*). Padahal, pohon kelapa yang terserang ulat itu baru akan bisa kembali berbuah paling cepat dua tahun kemudian (Handoko., 2010). Oleh karena itu, diperlukan bahan baku alternatif pengganti tempurung kelapa seperti buah bintaro. Selain memiliki komposisi lignoselulosa yang menyerupai tempurung kelapa, tanaman bintaro dapat tumbuh di daerah yang ekstrim dan kurang nutrisi sehingga mudah untuk dibudidayakan.

Melihat kebutuhan dari dua produk diatas dan adanya potensi dari buah bintaro untuk diolah menjadi bioetanol dan karbon aktif maka perlu dilakukan penelitian yang berkaitan dengan pengolahan kandungan selulosa dan lignin dari buah bintaro. Terkait dengan hal tersebut, penelitian ini akan menentukan perlu tidaknya pengenceran enzim selulase, mencari waktu optimum hidrolisis enzim, dan konsentrasi substrat optimum yang dibutuhkan untuk mencapai perolehan glukosa maksimum dengan kadar lignin yang tetap melalui hidrolisis enzim.

Landasan Teori

Buah bintaro merupakan buah drupa (buah biji) terdiri dari tiga lapisan yaitu epikarp atau eksokarp (kulit bagian terluar buah), mesokarp (lapisan tengah berupa serat seperti sabut kelapa), dan endokarp (biji yang dilapisi kulit biji atau testa). Secara fisik buah bintaro berserat serabut seperti kelapa. Serat pada buah bintaro di bentuk dari selulosa. Serat selulosa tersebut memiliki ikatan β -glikosida. Konfigurasi β inilah yang membuat selulosa bersifat keras, sukar larut dalam air, dan tidak manis.

Selulosa secara alami diikat oleh hemiselulosa dan dilindungi oleh lignin. Adanya ikatan arialkil dan ikatan eter senyawa pengikat lignin inilah yang menyebabkan bahan-bahan lignoselulosa sulit untuk dihidrolisa (Ben-Ghedalia dkk., 1981). Namun, kandungan karbon yang tinggi menjadikan lignin sebagai sumber atom C (karbon) dalam pembuatan karbon aktif berbasis lignoselulosa. Kandungan karbon yang tinggi menyebabkan berat lignin yang hilang setelah proses pirolisis jauh lebih sedikit dibandingkan selulosa ataupun hemiselulosa sehingga lignin menjadi komponen utama penyusun berat karbon aktif yang dihasilkan. Oleh karena itu, kandungan lignin setelah proses hidrolisis diharapkan tetap sehingga berpotensi sebagai sumber karbon dalam pembuatan karbon aktif. Kandungan karbon pada komponen lignoselulosa pada tabel 1.

Tabel 1. Kandungan Karbon pada Komponen Lignoselulosa (Yun Yu dkk., 2008)

Komponen Lignoselulosa	Kandungan karbon (%)
Hemiselulosa	38,1
Selulosa	41,8
Lignin	58,5

Proses *pretreatment* perlu dilakukan untuk memecah lapisan pelindung lignin dan memperbesar luas permukaan kontak antara substrat buah bintaro dengan enzim selulase sehingga enzim selulase akan lebih efektif mengkonversi selulosa menjadi glukosa. Rusaknya struktur kristal selulosa akan mempermudah terurainya selulosa menjadi glukosa. Sebab struktur kristal membuat selulosa resisten terhadap hidrolisis. *Pretreatment* fisik yang dipilih adalah *mechanical comminution* (pengecilan ukuran) karena mampu meningkatkan akses enzim ke permukaan selulosa tanpa mengurangi kadar lignin setelah hidrolisis.

Hidrolisis yang digunakan adalah hidrolisis enzim karena hidrolisis enzim memiliki kemampuan untuk memproduksi glukosa dengan kadar tinggi (75-95%) dan tidak berlangsung dalam kondisi temperatur tinggi sehingga tidak menyebabkan dekomposisi lignin lebih lanjut (suhu 100-900°C) yang dapat mengurangi kandungan lignin pada padatan hidrolisat serta membentuk senyawa inhibitor.

Enzim yang digunakan adalah enzim selulase berjenis *cellusoft L*. Enzim *cellusoft L* terdiri dari campuran tiga jenis enzim, yaitu *endoselulase*, *eksoselulase* dan *selobiase*. Enzim ini bekerja spesifik untuk mengubah selulosa menjadi glukosa melalui tiga tahap. Tahap pertama enzim *endoselulase* bekerja untuk memecah ikatan kristal selulosa berupa ikatan crosslinked sehingga menjadi ikatan selulosa rantai lurus, kemudian enzim *eksoselulase* bekerja untuk memecah ikatan selulosa berantai lurus menjadi selobiose, yaitu senyawa yang terdiri dari dua molekul glukosa. Kemudian enzim *selobiase* bekerja untuk mengubah selobiose menjadi molekul-molekul glukosa.

Pada percobaan kali ini akan dilakukan hidrolisis enzim dengan konsentrasi substrat 5 gr/L dan 100 gr/L pada skala yang lebih besar selama 72 jam dan tanpa pengenceran enzim. Cairan hidrolisat difermentasi dan padatannya dibuat karbon aktif.

Metodologi Penelitian

Seluruh proses hidrolisis enzim pada penelitian dilakukan pada kondisi reaksi optimum (pH 4,8 dan suhu 50°C) dengan kadar enzim 5 gr/L. Pada awalnya seluruh buah bintaro yang akan digunakan pada penelitian dilakukan *pretreatment fisik* melalui pengeringan pada suhu 80°C dan penggilingan hingga diperoleh serbuk buah bintaro (+40 -60 mesh) kemudian dianalisa kandungan awal selulosa dan ligninnya.

Proses hidrolisis enzim pada konsentrasi substrat 5 dan 100 gr/L dilakukan pada skala besar selama 72 jam dan tanpa pengenceran enzim. Proses hidrolisis enzim pada konsentrasi substrat 100 gr/L divariasikan dengan pengadukan sebesar 130 rpm dan tanpa pengadukan. Sementara itu, sebagian cairan hidrolisat dari konsentrasi substrat 5 gr/L diautoklaf sebelum difermentasi dan sebagian lagi langsung difermentasi. Proses fermentasi berlangsung pada suhu 33°C, pH 6 dan kecepatan pengadukan 150 rpm selama 3 hari. Padatan hidrolisat dari masing-masing variasi konsentrasi substrat dibuat karbon aktif melalui pirolisis pada suhu 550°C dengan aliran gas N₂ (laju 100 cm³/min) dan aktivasi dengan H₃PO₄ 4 M. Karbon aktif yang diperoleh dianalisa kapasitas adsorpsinya dalam 100 ml larutan metilen blue 10 ppm.

Hasil dan Pembahasan

Hidrolisis Enzim (5 gr/L dan 100 gr/L substrat)

Produk dari hidrolisis enzim berupa cairan hidrolisat yang mengandung glukosa dan padatan hidrolisat yang mengandung lignin. Cairan hidrolisat dipisahkan dari padatannya dengan menggunakan corong buchner kemudian dianalisa kandungan glukosanya. Perolehan glukosa dari setiap hidrolisis enzim dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Perolehan Glukosa dari Setiap Hidrolisis Enzim

Konsentrasi Substrat	Hidrolisis enzim	Cairan Hidrolisat	Konsentrasi Glukosa (gr/L)	Yield Glukosa (%)
5 gr/Lt	Pengadukan 130 rpm	Autoklaf	1,22	65,81
	Pengadukan 130 rpm	Tidak Autoklaf	1,43	77,317
100 gr/Lt	Tanpa Pengadukan	Tidak Autoklaf	8,26	22,35
	Pengadukan 130 rpm	Tidak Autoklaf	8,95	24,23

Kedua proses hidrolisis enzim pada konsentrasi substrat 5 gram/liter dilakukan dengan kecepatan pengadukan 130 rpm. Pada konsentrasi substrat 5 gram/liter baik konsentrasi glukosa maupun *yield* glukosa dari cairan hidrolisat yang diautoklaf (1,22 gr/L dan 65,81%) lebih kecil dibandingkan cairan hidrolisat yang tidak diautoklaf (1,43 gr/L dan 77,32%). Hal tersebut menunjukkan bahwa adanya proses autoklaf untuk menghentikan kinerja enzim ternyata menurunkan kandungan glukosa dalam cairan hidrolisat. Hal ini dapat disebabkan karena proses autoklaf berlangsung pada suhu dan tekanan tinggi sehingga sebagian glukosa terdekomposisi membentuk senyawa inhibitor. Oleh karena itu, pada konsentrasi substrat 100 gr/L kedua jenis cairan hidrolisat dianalisa kandungan glukosanya tanpa diautoklaf terlebih dahulu.

Dari tabel 2 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi substrat 100 gr/L baik konsentrasi glukosa maupun

yield glukosa dari cairan hidrolisat yang diaduk pada kecepatan 130 rpm (8,95 gr/L dan 24,23%) lebih besar dibandingkan cairan hidrolisat yang tidak diaduk (8,26 gr/L dan 22,35%). Hal ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi substrat 100 gr/L adanya pengadukan menyebabkan luas permukaan kontak antara substrat dengan larutan enzim dalam memecah selulosa menjadi glukosa semakin besar sehingga glukosa yang diperoleh semakin banyak.

Pada hidrolisis enzim dengan pengadukan 130 rpm dan cairan hidrolisat tidak diautoklaf dapat dilihat bahwa *yield* glukosa pada konsentrasi substrat 100 gr/L tidak terlalu tinggi tetapi konsentrasi glukosa yang diperoleh lebih tinggi di bandingkan konsentrasi substrat 5 gr/L, yaitu 8,95 gr/L. Dari segi ekonomis, konsentrasi substrat 100 gr/L lebih ekonomis dibandingkan 5 gr/L karena komposisi enzim yang digunakan lebih sedikit dari pada buah bintaro sehingga biaya produksi lebih murah. Sementara itu, penggunaan bahan baku yang cukup banyak tidak menjadi masalah karena buah bintaro belum memiliki nilai ekonomis.

Rata-rata perolehan padatan hidrolisat dari konsentrasi substrat 5 gr/L sebesar 89,46% tidak berbeda jauh dengan rata-rata perolehan padatan hidrolisat dari konsentrasi substrat 100 gr/L sebesar 91,17%. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa proses hidrolisis enzim tidak menyebabkan pengurangan komposisi padatan yang terlalu besar. Sebagian padatan hidrolisat dianalisa kandungan ligninnya. Kandungan lignin padatan hidrolisat sebesar 40,36 %. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa kandungan lignin tetap tinggi dimana proses hidrolisis enzim tidak menyebabkan lignin terdekomposisi menjadi senyawa fenol yang dapat menghambat proses fermentasi pada tahap selanjutnya. Kandungan lignin yang cukup tinggi dibutuhkan sebagai sumber karbon pada proses pembuatan karbon aktif pada tahap selanjutnya.

Fermentasi (5 gr/L dan 100 gr/L substrat)

Proses fermentasi dilakukan pada dua macam cairan hidrolisat, yaitu cairan hidrolisat yang telah diautoklaf dan cairan hidrolisat tanpa autoklaf. Proses fermentasi menggunakan ragi roti (fermipan) dengan pengadukan sebesar 150 rpm pada suhu 33°C selama 72 jam. Setelah 72 jam dilakukan analisa glukosa dengan Nelson-Somogyi dan analisa etanol dengan Nicloux terhadap cairan fermentasi. Kadar glukosa dan etanol setelah fermentasi dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Kadar Glukosa dan Etanol Setelah Fermentasi

Konsentrasi Substrat	Cairan Hidrolisat	Kadar Glukosa Fermentasi (ppm)			Ethanol (%)
		Sebelum	Setelah	Terkonversi	
5 gr/L	Autoklaf	1215,67	666,43	549,24	0,14
	Tidak	1428,23	353,85	1074,38	0,31
100 gr/L	Tidak	8604,9	1870,715	6734,185	0,538

Dari tabel 3 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi substrat 5 gr/L glukosa yang terkonversi menjadi ethanol dan kadar ethanol dari cairan hidrolisat yang tidak diautoklaf (1074,38 ppm dan 0,31 %) lebih banyak dari pada cairan hidrolisat yang diautoklaf (549,24 ppm dan 0,14 %). Hal ini menunjukkan bahwa masih banyak glukosa yang tidak difermentasi oleh mikroorganisme menjadi ethanol pada hidrolisat yang diautoklaf karena kinerja mikroorganisme terhambat oleh senyawa inhibitor yang terbentuk selama proses autoklaf. Dari kedua hal tersebut dapat disimpulkan bahwa cairan hidrolisat tidak perlu diautoklaf dan segera dilakukan proses fermentasi untuk mencapai perolehan ethanol yang maksimum.

Proses fermentasi pada konsentrasi substrat 100 gr/L dilakukan pada cairan hidrolisat yang tidak diautoklaf secara duplo. Bila dibandingkan dengan fermentasi cairan hidrolisat yang tidak diautoklaf pada konsentrasi substrat 5 gr/L, maka glukosa yang terkonversi menjadi ethanol dan kadar ethanol pada konsentrasi substrat 100 gr/L (6734,185 ppm dan 0,538 %) lebih besar dibandingkan glukosa yang terkonversi menjadi ethanol dan kadar ethanol pada konsentrasi substrat 5 gr/L (1074,38 ppm dan 0,31 %). Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak kandungan glukosa sebagai sumber nutrisi utama mikroorganisme maka semakin banyak glukosa yang dapat dikonversi menjadi ethanol karena mikroorganisme tidak saling berebut makanan sehingga waktu untuk mencapai fase kematian pun lebih lama. Namun, secara keseluruhan perolehan ethanol dari bahan baku buah bintaro sangat sedikit (di bawah 1 %). Hal ini dikarenakan sumber glukosa sebagai sumber nutrisi utama dari mikroorganisme fermentasi sangat kecil sekitar 1200-8600 ppm sehingga kemampuan mikroorganisme dalam memproduksi ethanol sangat rendah.

Pembuatan Karbon Aktif (5 gr/L dan 100 gr/L substrat)

Pembuatan karbon aktif memanfaatkan padatan hidrolisat sisa hidrolisis enzim yang telah dipisahkan dari cairan hidrolisatnya sebelum cairan hidrolisat diautoklaf. Padatan hidrolisat yang digunakan berasal dari dua konsentrasi substrat yang berbeda, yaitu 5 gr/L dan 100 gr/L. Padatan hidrolisat memiliki kandungan lignin cukup tinggi, yaitu sebesar 40,36 %. Padatan hidrolisat dipirolisis dalam *furnace* silinder pada suhu 550°C selama 45 menit dengan aliran gas N₂ sebesar 100 mL/menit.

Setelah dingin arang yang diperoleh diaktivasi dalam larutan H₃PO₄ 4 M selama 10 jam. Karbon aktif dipisahkan dari larutan H₃PO₄ dengan corong buchner. *Yield* karbon aktif pada setiap konsentrasi substrat dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. *Yield* Karbon Aktif pada Setiap Konsentrasi Substrat

Konsentrasi Substrat	Padatan Hidrolisat (gr)	Padatan Sebelum Pirolisis (gr)	Karbon Aktif (gr)	<i>Yield</i> Karbon Aktif (%)
5 gr/L	22,37	22,37	0,36	1,61
100 gr/L	91,17	21,38	1,16	5,43

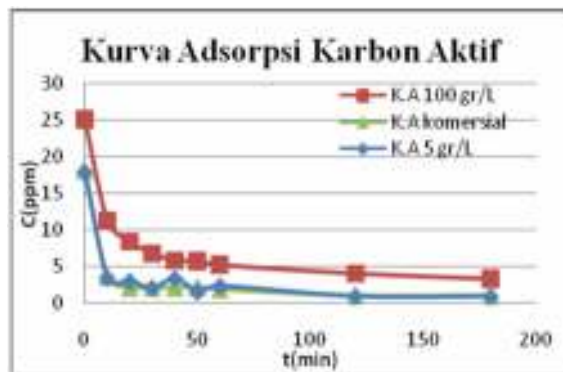
Yield dan perolehan karbon aktif dari konsentrasi substrat 100 gr/L (5,43% dan 1,16 gr) lebih banyak dibandingkan 5 gr/L (1,61% dan 0,36 gr). Kandungan substrat awal yang tinggi menyebabkan perolehan padatan hidrolisat sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif semakin banyak. Dengan demikian semakin banyak karbon aktif yang diperoleh.

Karbon aktif yang diperoleh dilakukan analisa adsorpsi dimana kemampuan adsorpsi karbon aktif dari hidrolisat tiap konsentrasi substrat buah bintaro dibandingkan dengan karbon aktif komersial masing-masing dalam 10 ppm metilen blue. Dari gambar 1 dapat dilihat kemampuan adsorpsi karbon aktif dari konsentrasi substrat 5 gr/L (K.A 5 gr/L), 100 gr/L (K.A 100 gr/L), dan karbon aktif komersial (K.A komersial). Pada gambar 1 dapat disimpulkan bahwa kemampuan adsorpsi K.A 100 gr/L tidak sebaik K.A 5 gr/L karena dari awal sampai akhir proses analisa adsorpsi kandungan metilen blue dalam larutan K.A 100 gr/L lebih tinggi dari pada larutan K.A komersial. Hal ini dapat disebabkan karena kandungan lignin sebagai sumber karbon pada K.A 100 gr/L lebih sedikit dibandingkan K.A 5 gr/L dan

proses pembuatan karbon aktif yang belum sempurna dimana masih banyak pori-pori karbon aktif yang belum terbuka karena tertutup tar.

Sementara itu, kemampuan adsorpsi K.A 5 gr/L hampir menyerupai K.A komersial. Pada menit ke-10 K.A 5 gr/L zat warna sudah mulai berkurang banyak. Setelah 20 menit cairan sudah mulai bening dimana konsentrasi metilen blue mengalami kenaikan dan penurunan pada rentang 2-3 ppm dengan kecenderungan menurun sampai menit ke-60. Kemudian terus berkurang hingga mencapai 1 ppm. Kenaikan dan penurunan konsentrasi metilen blue dikarenakan proses dekantasi karbon aktif buah bintaro yang lebih lambat dibandingkan karbon aktif komersial sehingga menghalangi cahaya saat pengamatan dengan spektrofotometer. Dari menit ke-60 sampai menit ke-180 kemampuan adsorpsi karbon aktif buah bintaro menyerupai karbon aktif komersial.

Kemampuan adsorpsi karbon aktif buah bintaro tidak lepas dari kandungan lignin yang cukup tinggi setelah proses hidrolisis sebagai sumber karbon dalam pembuatan karbon aktif. Semakin tinggi kandungan karbon, semakin banyak pori yang terbentuk setelah proses aktivasi. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa buah bintaro berpotensi untuk dijadikan bahan baku pembuatan karbon aktif baik dari segi kualitas produk yang dihasilkan maupun segi ekonomis bahan baku yang sangat murah.



Gambar 1. Kurva Daya Adsorpsi Karbon Aktif

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan analisis sebagai berikut:

1. Kandungan lignin tetap tinggi setelah hidrolisis enzim.
2. Semakin banyak substrat yang digunakan, semakin banyak glukosa yang dihasilkan.
3. Perolehan glukosa tertinggi dicapai pada konsentrasi substrat yang paling tinggi, yaitu 100 gr/L.
4. Konsentrasi substrat buah bintaro yang terbaik untuk pembuatan karbon aktif adalah 5 gr/L.

Saran

Perlu dilakukan adaptasi ragi *Saccharomyces cereviceae* pada cairan hidrolisat buah bintaro untuk memperoleh kadar alkohol yang lebih tinggi. Selain itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk menentukan kondisi optimum dari variabel-variabel yang berpengaruh dalam pembuatan karbon aktif dari buah bintaro seperti temperatur pirolisis, laju alir N_2 , ukuran bahan baku, dan reagen kimia yang digunakan dalam aktivasi. Senyawa-senyawa yang terkandung dalam cairan hidrolisat buah bintaro perlu dianalisis dengan menggunakan alat HPLC (*High Pressure Liquid Chromatography*). Dapat digunakan *immobilized* enzim untuk mempermudah pemisahan glukosa dengan enzim yang digunakan sehingga mempermudah pengamatan glukosa dengan alat HPLC.

Daftar Pustaka

- Badan Pusat Statistik Indonesia., *Statistik Industri Besar dan sedang.*, katalog BPS tahun 2004-2006., hal. 164, 178, 316, 431, 458., BPS,Jakarta.
- Ben-Ghedalia, Daniel., and Joshua Miron., 1981, *The Effect of Combined Chemical and Enzyme Treatments on the Saccharification and in vitro Digestion Rate of Wheat Straw*, Biotechnology and Bioengineering., Vol. XXIII, 823-831.
- Handoko, A., Artikel : *Ketika Ulat Memutus Pendapatan Merek*, Surat kabar Harian KOMPAS, hal 3, Minggu, 11 April 2010.
- Yun Yu, Xia Lou, and Hongwei Wu. ,*Some Recent Advances in Hydrolysis of Biomass in Hot-Compressed Water and Its Comparisons with Other Hydrolysis Methods* ,Energy Fuels., 22(1), 50 (2008).